

Explanation of the Chart of the Nuclides

General

In this chart each experimentally observed nuclide is represented by a square containing the symbol of the element and the number of nucleons A. In the chart the nuclides are arranged such that the proton number Z is given on the ordinate and the neutron number N = A – Z on the abscissa.

In the present nuclide chart update, the 1998 edition of the Karlsruhe Nuclide Chart was compared to the NUBASE 2003 evaluation [16] to establish a list of nuclides which were not present in the 1998 evaluation. From this list we have selected only nuclides which have been measured experimentally. In particular, nuclides were selected where the half-life or the mass has been determined or the nuclide has been clearly identified. Where a nuclide has been identified but the half-life has not been measured, a detection limit for half-life is given (greater or lower than a value).

Metastable states, which do not undergo α -, or β -decay, or spontaneous fission, i.e. decay only by gamma emission, are included only if their half-life is larger than 1 s. Where emission of a particle results from a resonance state in unstable nuclides, both the resonance width and corresponding half-life are given using the relations:

$$\Gamma_{c.m.} T_{1/2} \cong \hbar \ln 2, \quad T_{1/2}(s) \cong 4.562 \times 10^{-22} / \Gamma_{c.m.}(\text{MeV})$$

For mass numbers in the range A = 266 – 294 we have used the latest 2005 (till August 12, 2005) Nuclear Data Sheets revision [17]. For the period not covered by NUBASE, i.e. 2003 until summer 2006, nuclide information has been taken from Nuclear Data Sheets 100 – 107. In addition, original publications up to summer 2006 were taken into account. A full list of new and updated nuclides in the present chart is given later in this brochure.

Atomic weights of the elements and isotopic abundances have been taken from J. R. De Laeter [18]. For isomers which decay exclusively by spontaneous fission, no decay data is given in the chart. A table of half-lives (all less than 0.1 s), from B. Singh [19], are given in the brochure. Chain yields are from R. W. Mills [20] and neutron cross sections are from N. E. Holden [21].

Nüklit Tablosunun Açıklamaları

Genel

Bu tabloda deneysel olarak gözlenmiş her nüklit, elementin sembolünü ve nükleon sayısını içeren bir kare ile gösterilmiştir. Tabloda proton sayıları Z, ordinat ekseninde ve nötron sayıları N = A – Z ise apsis ekseninde olacak şekilde sıralanmışlardır.

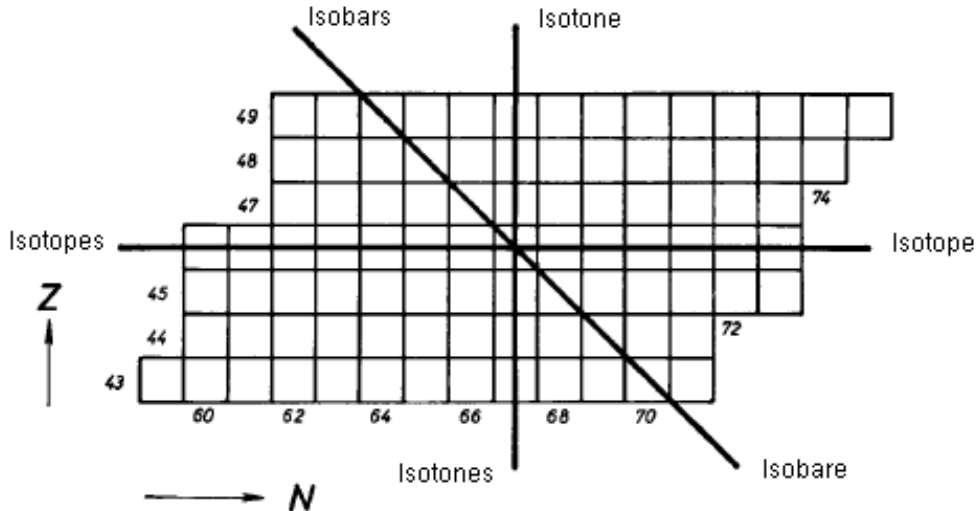
Bu nüklit tablosu güncellemesinde, 1998 ölçümlerinde olmayan nüklitlerin listesinin oluşturulabilmesi için Karlsruhe Nüklit Tablosunun 1998 baskısı, NUBASE 2003 [16] ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Bu listeden, biz sadece deneysel olarak ölçülen nüklitleri seçtik. Bilhassa yarı-ömrü veya kütlesi belirlenmiş ya da varlığı açıkça tespit edilmiş nüklitler seçilmiştir. Nüklidin tespit edilip yarı-ömrünün ölçülmediği durumlarda ise yarı-ömür için bir ölçüm limiti verilmiştir (herhangi bir değerden büyük veya küçük).

Yalnızca gama ışıması ile bozunan, α -, veya β -bozunmalarına veya kendiliğinden fisyonu uğramayan metastabil haller, eğer yarı-ömrüleri 1 s.'den uzun ise dahil edilmişlerdir. Parçacık salınımının kararsız nüklitlerdeki bir rezonans halinden ileri geldiği durumlarda, hem rezonans genişliği hem de karşılık gelen yarı-ömür şu eşitlikler kullanılarak verilmiştir:

$$\Gamma_{c.m.} T_{1/2} \cong \hbar \ln 2, \quad T_{1/2}(s) \cong 4.562 \times 10^{-22} / \Gamma_{c.m.}(\text{MeV})$$

Kütle numaraları A = 266 – 294 olan nüklitler için sonuncu (12 Ağustos 2005'e kadar) 2005 Nuclear Data Sheets gözden geçirmesi [17] kullanılmıştır. NUBASE'in kapsamadığı tarihler için - 2003'ten 2006 yazına kadar - nüklit bilgileri Nuclear Data Sheets 100 – 107'den alınmıştır. Ek olarak, 2006 yazına kadar olan özgün yayınlar da dikkate alınmıştır. Şimdiki tablodaki yeni ve güncellenmiş nüklitlerin tam listesi bu broşürde daha sonra verilecektir.

Elementlerin atom ağırlıkları ve izotopik bulunma yüzdeleri J. R. De Laeter [18]'den alınmıştır. Yalnızca kendiliğinden fisyon ile bozunan izomerler için tabloda bozunma bilgisi verilmemiştir. B. Singh [19]'ten alınan bir yarı-ömrüler tablosu (hepsi 0.1 s'den az) broşürde verilmiştir. Zincir verimleri R. W. Mills [20]'ten ve nötron kesitleri de N. E. Holden [21]'den alınmıştır.



[16] G. Audi, O. Bersillon, J. Blachot and A.H. Wapstra, The NUBASE evaluation of nuclear and decay properties, Nuclear Physics A, 2003, 729, 3 (2003).

[17] M. Gupta and T. W. Burrows, Nuclear Data Sheets 106, 251 (2005).

[18] J. R. De Laeter, J. K. Böhlke, P. De Bièvre, H. Hidaka, H. S. Peiser, K. J. R. Rosman, and P. D. P. Taylor, Atomic Weights of the Elements: Review 2000, Pure & Appl. Chem., 75, 683 (2003).

[19] B. Singh, R. Zywna, and R. Firestone, Table of Superdeformed Nuclear Bands and Fission Isomers, 3rd Edition, Nuclear Data Sheets 97, 241 (2002).

[20] A. Koning, R. Forrest, M. Kellett, R. Mills, H. Henriksson, Y. Rugama "JEFF Report 2.1: The JEFF-3.1 Nuclear Data Library". OECD/NEA Report to be published. See also R. W. Mills "Fission Product Yield Evaluation", Thesis, 1995, The University of Birmingham, UK.

[21] N. E. Holden, Neutron Scattering and Absorption Properties, Handbook of Chemistry and Physics on CD-ROM, version 2006, 11-185, Ed. D.R. Lide, CRC Press, Boca Raton, Florida.

Stable nuclide



Kararlı nükleit

Primordial radionuclides, i.e. those formed in the build-up of terrestrial matter and still present today.



Ezeli radyonüklitler; bunlar yerküreye beraber oluşan ve hala var olan nüklitlerdir.

Decay modes are represented by specific colours.

Bozunum türleri belirli renklerle gösterilmiştir.

p: Proton decay
 α : Alpha decay
 ϵ : Electron capture
 β^+ : Positron decay
 I_γ : Isomeric transition
 β^- : Negatron decay
sf: Spontaneous fission
ce: Cluster emission e. g. C 14, Ne 20
n: Neutron emission

p: Proton bozunumu
 α : Alfa bozunumu
 ϵ : Elektron yakalanması
 β^+ : Pozitron bozunumu
 I_γ : İzomerik geçiş
 β^- : Negatron bozunumu
sf: Kendiliğinden fisyon
ce: Küme salınımı Örn. C 14, Ne 20
n: Nötron salınımı



The data given in the left part apply to the metastable state, those in the right part to the ground state. I_γ denotes γ -quanta due to the decay to the ground state of the same nuclide (isomeric decay).



Sol kısımda verilen bilgiler metastabil hale, sağ kısımda verilen bilgiler ise nüklidin temel haline aittir. I_γ ise aynı nüklidin bu metastabil halden temel hale geçerken saldırdığı γ -ışınını gösterir (izomerik geçiş).

The assignment of decay properties to the metastable or ground state is uncertain.



Bozunum özelliklerinin metastabil hale veya temel hale tayini belirsizdir.

One or more short-lived states, for which only decay via spontaneous fission has been observed (spontaneously fissioning isomers) are indicated by a vertical green bar.



Daha kısa ömürlü bir veya daha fazla, yalnızca kendiliğinden fisyon ile bozunan haller gözlenmişse (kendiliğinden fisyon yapan izomerler), bunlar dikey bir yeşil çubukla gösterilir.

Emission of γ -quanta; they are always listed together with the respective parent nuclide.

γ

γ -ışını salınımı; her zaman sözkonusu ana nüklitlerle birlikte gösterilirler.

Emission of the specified particles or spontaneous fission from an excited level of the daughter nuclide, populated via β -decay (" β -delayed particle emission or fission").

$\beta x p$; $\beta x n$;
 βd ; βt ;
 $\beta x \alpha$; βsf

β -bozunması aracılığıyla artırılan, kız nüklidin uyarılmış bir halinden belli bir parçacık salınımı veya kendiliğinden fisyon („gecikmiş β parçacığı salınımı veya fisyon“).

Simultaneous emission of two β -particles (" β -decay", e.g. Te 130 \rightarrow Xe 130).

$2\beta^-$

Aynı anda iki β -parçacığı salınımı. („çift β -bozunumu“, Örn. Te 130 \rightarrow Xe 130).

Emission of the specified particles from a particle-unstable nuclide. Simultaneous emission of two particles is indicated only, if one-particle-emission is excluded for energetical reasons (e.g. Be 6 \rightarrow 2p).

p; n
 $2p$; 2α

Belirli parçacıkların parçacık-kararsız nüklitten salınımı. Tek-parçacık-salınımı enerjetik sebeplerden dolayı engellenirse, yalnızca iki parçacığın aynı anda salınımı gösterilir. (Örn. Be 6 \rightarrow 2p).

Multiple Decay Modes and Branching Ratios

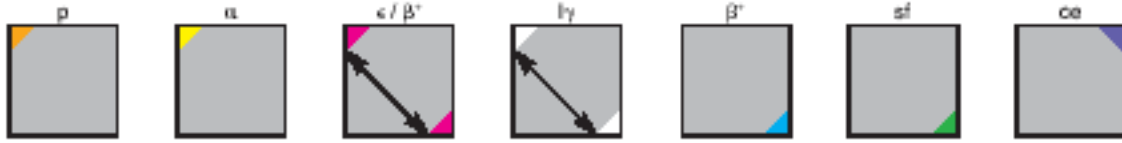
The branching ratios of the decay modes are indicated by 3 different sizes of the coloured sections and by the sequence of the symbols. Pure decay modes are indicated by a single colour (e.g. see previous section). Mixed decay modes are indicated by the use of coloured triangles. A small coloured triangle in the top left or bottom right indicates a branching ratio for this mode of $\leq 5\%$ (conversely, the major mode has a branching ratio of $\geq 95\%$) as shown in the figure. The small triangles representing proton or alpha emission are always on the top left corner (first two boxes). The triangles for β^- emission or spontaneous fission are always at the bottom right. Triangles representing ϵ/β^+ or I_γ may be at the top left or bottom right depending on the major mode. For ϵ/β^+ , the

Çoklu Bozunum Türleri ve Dallanma Oranları

Bozunum türlerinin dallanma oranları renkli kısımların 3 farklı boyutuyla ve sembollerin sırasıyla gösterilmiştir. Saf bozunum şekilleri tek renkli kutulardır (bkz. önceki bölüm). Karışık bozunum türleri renkli üçgenler kullanılarak gösterilmiştir. Sol üst veya sağ alttaki küçük, renkli bir üçgen o bozunma türü için $\leq 5\%$ 'lik bir dallanma oranını gösterir (yani büyük oranlı bozunum $\geq 95\%$ orandadır). Proton veya alfa parçacığı salınımını gösteren küçük üçgenler her zaman sol üst köşededir (ilk iki kutu). β^- -bozunumu veya kendiliğinden fisyon için olan üçgenler her zaman sağ alttadır. ϵ/β^+ veya I_γ 'i gösteren üçgenler ise, baskın bozunma türüne bağlı olarak sol üst veya sağ altta olabilir. ϵ/β^+ için eğer ana bozunma türü alfa veya proton salınımı ise kırmızı üçgen sağ alttadır. Diğer hallerde kırmızı üçgen sol üst köşededir. I_γ izomerik

red triangle is at the bottom right if the main mode is alpha or proton emission.

Otherwise, the red triangle is at the top left corner. For isomer transition I_γ , the white triangle is at the bottom right if the main mode is α - or p- emission or ϵ/β^+ , otherwise it is at the top left corner. Cluster emission is always indicated with a small triangle in the top right corner. Hence the location of the small triangles is as follows:

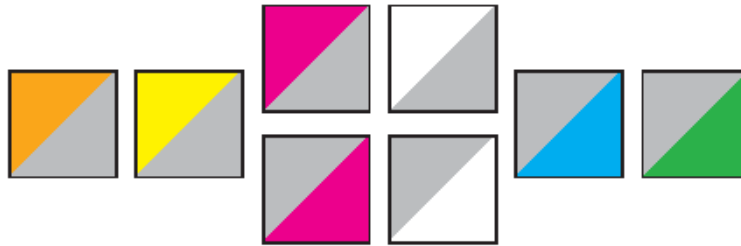


If the branching ratio of the minor mode is in the range 5 – 50% (implying a branching ratio for the major mode in the range 50 – 95%), the box is divided into two by a diagonal connection the lower left and top right corners. The location of the large triangles is similar to that described above.

geçiş için, ana bozunma türü α - veya p- bozunumu veya ϵ/β^+ ise beyaz üçgen sağ alttadır, diğer hallerde sol üsttedir. Küme salınımı her zaman sağ üst köşede bir küçük üçgenle gösterilir.

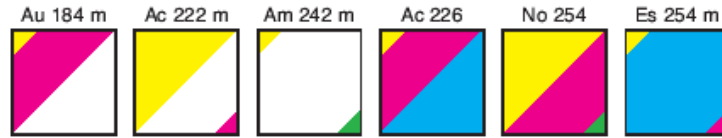
Bunlara göre, küçük üçgenlerin kutulardaki konumları şöyle olur:

Eğer küçük dallanmanın oranı % 5 – 50 aralığında ise (büyük dallanmanın oranı da % 50 – 95), sol alttan sağ üste çapraz bir çizgi ile ikiye bölünür. Büyük üçgenlerin yerleri üstte anlatılanlarla benzerdir.



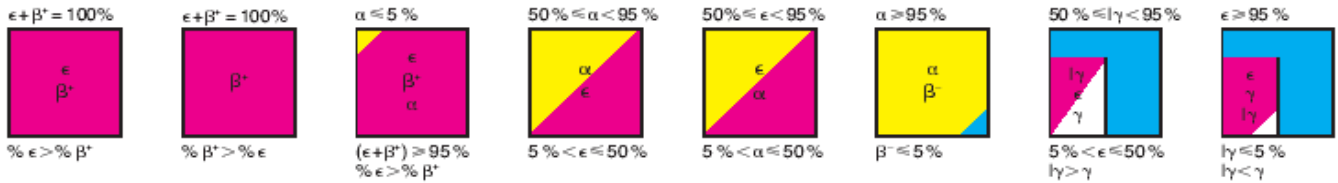
In some cases, three decay modes are possible. Some examples are shown below.

Bazı durumlarda üçlü bozunum tipleri de mümkündür. Bazı örnekler aşağıda verilmiştir.



Examples:

Örnekler:



The symbols for the particle emitting decay modes are arranged according to branching ratio with the highest branching ratio first, followed by γ -quanta and conversion electrons. The data for the isomeric decay have been arranged corresponding to the branching ratio of the decay mode. β -delayed particles or fission (βn , βp , βsf) precede or follow the γ -quanta according to the relative intensities.

For a given type of radiation the sequence of the energies corresponds to the relative intensities (in decreasing order) of the respective radiation. In case of β -decay a slightly different rule is used (see below).

Points indicate further transitions of the same type with lower intensities.

Energies are given in keV for γ -quanta, in MeV for all kinds of particles. A radiation symbol without energy value indicates that the radiation occurs but the energy has not been measured.

Endpoint energy of the most abundant β -transition. In case further transitions with higher energies exist, the second number corresponds to the highest endpoint energy observed.

β -transitions with known energies, for which the sum of their abundances is less than 1%.

Electron capture is specified only, if it is more probable than β^+ -decay.

Particle energies listed according to decreasing probabilities of the respective transitions. At least one energy is given, even if the abundance of the most prominent group is less than 1%.

Energies of the strongest γ -quanta arranged in order of decreasing intensities. Intensities less than 1% are given in brackets.

γ -Energies followed by an asterisk denote transitions after β -delayed particle emission.

Several γ -quanta of unknown intensities within the energy interval 291-1319 keV.

Conversion electrons are specified only if they are more abundant than the γ -quanta. Energies are not quoted.

Cross Sections

All cross sections are given in barn (10^{-24} cm^2) and refer to reactions with thermal neutrons (0.0253 eV).

Cross section for the (n, γ) reaction. If two values are given, the first refers to the formation of the product nucleus in the metastable, the second to the formation in the ground state.

Fission cross section

(n, p) cross section

(n, α) cross section

Absorption cross section

Additional Symbols and Abbreviations

Chain yield (%) for the thermal neutron fission of U235 (above) and Pu239 (below) the arrowed line.

Nuclides with a closed neutron or proton shell are characterized by heavy horizontal or vertical lines.

The symbols "m" and/or "g" indicate that the metastable and/or ground state of the daughter nuclide is populated, respectively. The symbols are presented in order of decreasing probability. Branches with probabilities less than 5% are not shown. Subscripts on "m", e.g. m_1 , m_2 , are used to denote different metastable states (with m_2 being a higher energy state than m_1).

Data or assignment uncertain.

Nanosecond, microsecond, millisecond, second, minute, hour, day, year.

...

β^+ 2.7 ...
 β^- 1.2; 1.9...

β^- ...
 β^+ ...

ϵ

α 3.75,
4.43...
 p 1.56
 βp 4.5

γ 815; 1711...
 γ (1340)

γ 815*

γ 291-1319

e^-

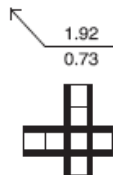
σ

σ_f

$\sigma_{n,p}$

$\sigma_{n,\alpha}$

σ_{abs}



m; g

?

ns, μ s, ms, s,
m, h, d, a

Parçacık salın bozunum türleri için olan semboller ilk olarak en yüksek dallanma oranına sahip dallanmalara göre sıralanırlar, onları γ -kuantaları ve dönüşüm elektronları izler. İzomerik geçiş için olan veriler de bozunum türünün dallanma oranına göre sıralanmışlardır. Gecikmiş- β parçacıkları (βn , βp , βsf) veya fisyon, bağlı yüzdelerine göre γ -kuantasından önce veya sonra gelecektir.

Verilen bir radyasyon türü için enerjilerin sırası, sözkonusu radyasyonun bağlı yüzdelerine göre (azalan sırada). β -bozunumu durumunda ise biraz daha farklı bir kural kullanılmaktadır (aşağıya bakınız).

Noktalar, aynı türler için daha düşük yüzdeli geçişlerin de olduğunu gösterir.

γ -kuantaları için enerjiler keV olarak, tüm parçacık türleri için ise MeV olarak verilmiştir. Enerji değeri olmayan bir radyasyon sembolü radyasyonun olduğunu fakat enerjisinin ölçülmediğini gösterir.

Yüzdesi en yüksek β -geçişinin maksimum enerjisi. Daha yüksek enerjili başka geçişler olması durumunda, verilen ikinci sayı gözlenen en yüksek maksimum enerji değerine karşılık gelir.

Ortalama bulunma yüzdeleri % 1'den az olan ve enerjisi bilinen β -geçişleri.

Elektron yakalanması yalnızca β -bozunmasından daha olası ise gösterilir.

Parçacık enerjileri sözkonusu geçişlerin azalan olasılıklarına göre sıralanmıştır. En önemli grubun bolluğu % 1'den az olsa bile en azından bir enerji verilir.

Azalan yüzde sırasında dizilmiş en güçlü γ -kuantalarının enerjileri. % 1'den az olanlar parantez içindedir.

Yıldızla gösterilen γ enerjileri gecikmiş β parçacıklarının salınımlarından sonraki geçişleri gösterir.

291-1319 keV arasındaki birkaç şiddeti bilinmeyen γ -kuantası.

Dönüşüm elektronları yalnızca γ -kuantasından daha çok bulunma yüzdesine sahipse gösterilir. Enerjileri belirtilmez.

Etkin Kesitler

Tüm etkin kesitler barn (10^{-24} cm^2) biriminde verilmiştir ve termal nötronlarla (0.0253 eV) yapılan reaksiyonlar içindir.

(n, γ) -Reaksiyonu için etkin kesit. Eğer iki değer verilmişse ilki ürün çekirdeğin metastabil halinin oluşumu, ikincisi ise temel halin oluşumu içindir.

Fisyon etkin kesiti.

(n, p) -reaksiyonu etkin kesiti

(n, α) -reaksiyonu etkin kesiti

Absorpsiyon etkin kesiti

Ek Semboller ve Kısaltmalar

U235'in (üstte) ve Pu239'un (altta) termal nötronlarla reaksiyonu için (%) zincir verimi.

Kapalı nötron veya proton kabuklu nüklitler kalın yatay veya dikey çizgilerle karakterize edilir.

Sırasıyla „m” ve/veya „g” sembolleri, kız nüklidin metastabil ve/veya temel halinin oluştuğunu göstermektedir. Semboller azalan olasılık sırasıyla dırlar. % 5'ten az olası dallanmalar gösterilmemiştir. m'nin indisleri Örn. m_1 , m_2 farklı metastabil halleri göstermek için kullanılır (m_2 , m_1 'den daha büyük enerji hali olmak üzere).

Veriler veya çalışma kesin değildir.

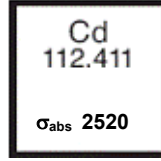
Nanosaniye, Mikrosaniye, Millisaniye, Saniye, Dakika, Saat, Gün, Yıl.

Arrangement of Symbols and Data

Elements

symbol of the element
standard atomic weight based on C 12 = 12

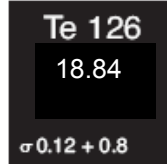
absorption cross section for thermal neutrons (barn)



Stable Nuclides

symbol of the element, number of nucleons
abundance in naturally occurring element (atom %)

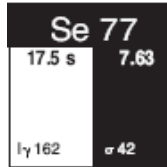
(n, γ)-cross sections for the formation of the metastable
and the ground state of Te 127 by thermal neutrons (barn)



symbol of the element, number of nucleons

left hand side: half-life of metastable state;
 γ -energy (keV) of the isomeric transition

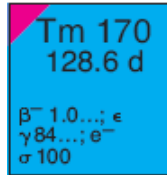
right hand side: abundance in the natural element (atom %)
(n, γ)-cross sections for the thermal neutrons (barn)



Unstable Nuclides

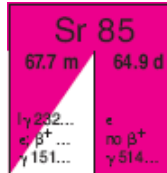
symbol of the element, number of nucleons
half-life

modes of decay, endpoint energy of β^- -radiation (MeV)
 γ -energy (keV), conversion electrons,
(n, γ)-cross section (barn)



symbol of the element, number of nucleons
half-lives

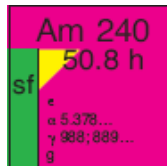
both states decay by electron capture; the metastable
state decays to the ground state
with a branching ratio for I γ in the range of 50% – 95%



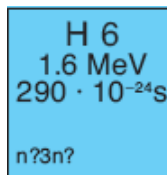
symbol of the element, number of nucleons

left hand side: spontaneous fission isomer, T < 0.1 s

right hand side: decay data of the ground state
"g" indicates that the daughter Pu 240g is formed to at least
95 %; a population of Pu 240m up to 5% cannot be
excluded



where emission of a particle results from a resonance
state in an unstable nucleus, both the resonance
width Γ (MeV) and the half-life $T_{1/2}$ are given



Sembollerin Dizilimi ve Veriler

Elementler

elementin sembolü
C 12 = 12 olarak alınan standart atom ağırlığı

termal nötronlar için absorpsiyon etkin kesiti (barn)

Kararlı Nüklitler

elementin sembolü ve nükleon sayısı
doğada bulunan elementteki bolluğu (Atom %)

Te 127'nin metastabil ve temel halinin oluşumu için termal
nötronlarla (n, γ) reaksiyonunun etkin kesiti (barn)

elementin sembolü ve nükleon sayısı

sol kısım: metastabil halin yarı-ömrü;
izomerik geçiş için γ -enerjisi (keV)

sağ kısım: doğal elementteki bolluğu (Atom %)
termal nötronlar için (n, γ)-etkin kesitleri (barn)

Kararsız Nüklit

elementin adı ve nükleon sayısı
yarı-ömrü

bozunum türleri, β^- bozunmasının maksimum enerjisi (MeV)
 γ -enerjisi (keV), dönüşüm elektronları,
(n, γ)-etkin kesiti (barn)

elementin sembolü ve nükleon sayısı
yarı-ömrüler

her iki hal de elektron yakalanması ile bozunur; metastabil hal
I γ için % 50 - % 95'lik bir dallanma oranıyla temel hale
bozunur.

elementin sembolü ve nükleon sayısı

sol kısım: kendiliğinden fisyon izomeri, T < 0.1 s

sağ kısım: temel halin bozunma verileri
"g", kız nüklit Pu 240g'nin en az % 95 oluştuğunu gösterir; %
5'lik Pu 240m popülasyonu da dikkate alınmalıdır

bir parçacık salınımının kararsız bir nüklitteki rezonans
halinden geldiği durum, hem rezonans genişliği hemde Γ
(MeV) yarı-ömrü $T_{1/2}$ verilmiştir